

PENGENDALIAN VALVE UNTUK MENGATUR KETINGGIAN AIR DENGAN MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF TIRUAN *B-SPLINE*

Wahyudi, Wisnu Isworo Hadi, dan Iwan Setiawan

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
Jln. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang 50275 Tlp./Fax. (024)7460057
e-mail : wahyuditinom@yahoo.com, nhunoe@telkom.net

ABSTRAKSI

Jaringan syaraf tiruan dapat digunakan untuk mengendalikan plant dengan nilai parameter yang tidak diketahui. Setiap jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan untuk beradaptasi yang berbeda-beda tergantung pada struktur jaringan dan algoritma yang digunakan. B-spline merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai pengendali plant secara on-line. Pengujian pengendalian valve untuk mengatur ketinggian air dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan B-spline orde 1, orde 2, dan orde 3. Pengendalian ketinggian dilakukan dengan mengatur pembukaan valve pengisian pada bak penampung. Pengujian dilakukan pada pengaruh nilai gain proporsional, laju konvergensi, bobot pembelajaran yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan jaringan syaraf B-spline dengan fungsi orde 1 memiliki respon transien paling baik pada sistem dengan kondisi valve keluaran tertutup penuh. Respon transien keluaran ketinggian air sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter kendali jaringan B-spline, yaitu besarnya laju konvergensi, gain proporsional, dan pemilihan orde fungsi basis.

Kata kunci : Jaringan Syaraf Tiruan, B-spline, Ketinggian Air.

1. PENDAHULUAN

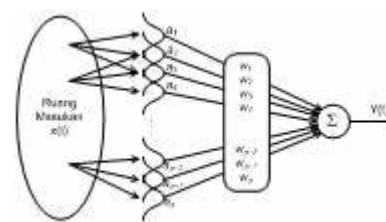
Dalam perancangan sistem kendali konvensional, parameter-parameter kendali dihitung berdasarkan parameter *plant*. Untuk suatu *plant* yang kompleks, proses untuk mendapatkan parameter *plant* merupakan proses yang sulit dan memakan banyak waktu. Sebuah pendekatan dalam pengendalian sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit untuk ditentukan dapat dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. *B-spline* merupakan salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digunakan sebagai komponen pengendali sistem yang parameter-parameternya tidak diketahui atau sulit ditentukan tanpa adanya proses identifikasi terlebih dahulu.

Pengujian terhadap unjuk kerja jaringan syaraf tiruan *B-spline* pada pengendalian ketinggian air, dengan mengatur pembukaan *valve* secara on-line. Pengujian dilakukan melalui pengujian pengaruh laju konvergensi dan gain proporsional terhadap transien ketinggian air. Struktur pengendalian yang digunakan adalah *Fixed Stabilising Controller*. Unit pengendali yang digunakan untuk mengimplementasikan algoritma kendali dengan jaringan syaraf tiruan *B-spline* adalah PC (*Personal Computer*).

2. DASAR TEORI

B-spline adalah salah satu jenis jaringan syaraf tiruan yang dapat digolongkan dalam kelas AMN (*Associative Memory Network*) yang dapat menyimpan informasi secara lokal. Hal ini

menyebabkan laju pembelajaran berlangsung relatif lebih cepat dan secara efisien dapat digunakan sebagai komponen pengendali *plant* secara on-line. Keluaran *B-spline* merupakan kombinasi bobot-bobot adaptif dari jumlah fungsi basis yang diaktifkan oleh masukan tertentu. Jumlah fungsi basis yang memberi kontribusi pada keluaran *B-spline* adalah konstan yaitu sebanyak p . Struktur jaringan syaraf *B-spline* untuk masukan x dan keluaran y diperlihatkan pada Gambar 1^[2].



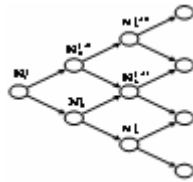
Gambar 1. Diagram blok jaringan syaraf tiruan *B-spline*.

Untuk masukan x dan keluaran y diperoleh keluaran *B-spline* yaitu :

$$y(t) = \sum_{i=1}^p a_i(t)w_i(t-1) \dots\dots\dots (1)$$

dengan : $w_i(t-1)$ = nilai bobot ke- i pada saat $t-1$
 $a_i(t)$ = keluaran fungsi basis ke- i
 $y(t)$ = keluaran jaringan syaraf pada saat t

Keluaran fungsi basis dapat dihitung dengan menggunakan hubungan *recurrence* [Cox,1972, DeBoor, 1972]^[2]. Hubungan *recurrence* tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan *recurrence*.

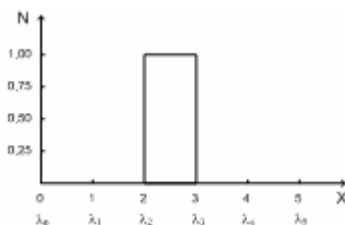
Keluaran fungsi basis dapat dihitung dengan menggunakan hubungan *recurrence* dibawah ini :

$$N_k^j(x) = \left(\frac{x - \lambda_{j-k}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-k}} \right) N_{k-1}^{j-1}(x) + \left(\frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-k+1}} \right) N_{k-1}^j(x) \quad (2)$$

$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ = 0, \text{ lainnya}$$

dengan : λ_j = knot (posisi) ke-j dan $I_j = (\lambda_{j-1}, \lambda_j)$ adalah interval ke-j
 k = orde fungsi basis
 x = masukan
 N = keluaran fungsi basis

Fungsi basis untuk orde1 ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Fungsi basis orde 1.

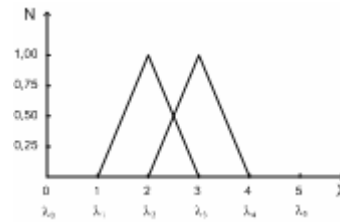
Misal N_1^j adalah fungsi basis ke-j dan I_j adalah interval ke-j (λ_{j-1}, λ_j maka keluaran fungsi basis orde 1 untuk masukan x adalah :

$$N_1^j(x) = 1 \text{ jika } x \in I_j (\lambda_{j-1}, \lambda_j) \\ = 0, \text{ lainnya} \quad (3)$$

Secara matematis persamaan diatas dapat diimplementasikan oleh fungsi berikut :

$$j = \lceil x \rceil \quad (4) \\ N(j) = 1 \\ \lceil \cdot \rceil : \text{ Fungsi ceil.}$$

Fungsi basis untuk orde 2 ditunjukkan oleh Gambar 4.

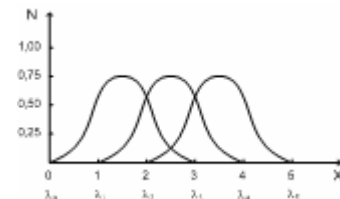


Gambar 4. Fungsi basis orde 2.

Keluaran fungsi basis orde 2 untuk masukan x adalah :

$$N_2^j(x) = \left(\frac{x - \lambda_{j-2}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-2}} \right) N_1^{j-1}(x) + \left(\frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-1}} \right) N_1^j(x) \quad (5)$$

Fungsi basis untuk orde 3 ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi basis orde 3.

Keluaran fungsi basis orde 3 untuk masukan x adalah :

$$N_3^j(x) = \left(\frac{x - \lambda_{j-3}}{\lambda_{j-1} - \lambda_{j-3}} \right) N_2^{j-2}(x) + \left(\frac{\lambda_j - x}{\lambda_j - \lambda_{j-2}} \right) N_2^j(x) \quad (6)$$

Algoritma pelatihan jaringan syaraf tiruan *B-spline* secara iteratif adalah sebagai berikut:

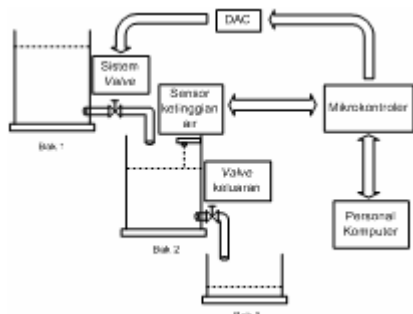
- Langkah 1 : Menentukan orde *B-spline* yang akan digunakan.
- Langkah 2 : Melakukan inisialisasi bobot.
Menentukan laju konvergensi.
Menentukan *gain* proporsional.
- Langkah 3 : Untuk setiap sinyal latih dikerjakan langkah 4 sampai dengan langkah 9.
- Langkah 4 : Menghitung keluaran fungsi basis tiap masukan dengan menggunakan hubungan *recurrence*.
- Langkah 5 : Menghitung keluaran fungsi basis 2 dimensi.
- Langkah 6 : Menghitung keluaran *B-spline*.
- Langkah 7 : Menghitung kesalahan (*error*) antara sinyal terharap (d) dengan keluaran *B-spline* (y). $error = d - y$
- Langkah 8 : Menghitung keluaran sinyal kontrol (Control_P)
Control_P = *Gain* proporsional * *error*.
- Langkah 9 : Memperbaharui bobot-bobot dengan metoda LMS.

```

graph LR
    Reference[Reference] --> Sum1((+))
    Sum1 --> SimpleGain[Simple Gain]
    SimpleGain --> Sum2((+))
    LearningModel[Learning Model] --> Sum2
    Sum2 --> Control[Control]
    Control --> Plant[Plant]
    Plant --> Output[Output]
    Output --> Sum1
    Control --> LearningSignal[Learning Signal]
    LearningSignal --> LearningModel
  
```

Pada skema ini jaringan syaraf tiruan berperan sebagai model inverse dinamis dari *plant*. Model ini menggunakan sinyal referensi dan keluaran aktual *plant* sebagai masukan serta *error* kontrol umpan balik sebagai algoritma adaptasi. Ketika jaringan syaraf tiruan telah terlatih, maka sinyal *error* akan mengalami konvergensi menuju nol. Dengan demikian kontroler jaringan syaraf tiruan akan berlatih mengambil peran kontroler umpan balik.

Blok diagram sistem pengaturan ketinggian air ditunjukkan Gambar 7.



Secara umum perangkat keras sistem pengaturan ketinggian air ini terdiri atas :

4. DAC.
Untuk mengubah sinyal kendali digital dari mikrokontroler, menjadi sinyal analog untuk menggerakkan *valve*.
5. Mikrokontroler AT89S51.
Untuk komunikasi antara komputer dengan sistem dan untuk mengatur sensor ketinggian.
6. Komputer
Untuk mengaplikasikan sistem kendali jaringan syaraf tiruan *B-spline*, dan untuk memonitor sistem.

```

graph LR
    Input[Sinyal kendali] --> Sum(( ))
    Sum --> Proportional[Proportional]
    Proportional --> DriverMotor[Driver Motor]
    DriverMotor --> MotorDC[Motor DC]
    MotorDC --> Valve[Valve]
    Valve --> Output[Keluaran proses]
    Output --> SensorPositif[Sensor Positif]
    SensorPositif --> Sum
  
```

Sinyal kendali yang berupa tegangan masuk ke dalam penguat ke rangkaian *driver* motor yang kemudian menggerakkan motor DC. Gerakan motor DC digunakan untuk menggerakkan *valve*. Posisi *valve* diubah menjadi tegangan yang bersesuaian oleh potensiometer. Tegangan ini dibandingkan dengan sinyal kendali, apabila ada selisih digunakan untuk mengoreksi pembukaan *valve*. *Valve* berhenti bergerak apabila selisih tegangan antara sinyal kendali dengan tegangan umpan balik sama dengan nol.

Gambar 9. Sensor Ping)))TM dan diagram pewaktuan.

Untuk memulai pengukuran sensor perlu dipicu dengan sinyal *high* selama t_{OUT} , kemudian menunggu selama $t_{HOLDOFF}$ baru sensor memancarkan sinyal ultrasonik dan siap untuk menerima kembali sinyal pantulan. Waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik mulai dari dipancarkan sampai diterima kembali menentukan besarnya jarak. Secara matematis besarnya jarak dapat dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

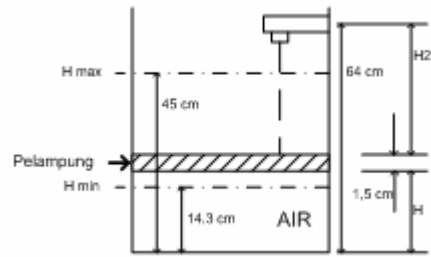
- s = jarak yang diukur (meter)
- v = kecepatan suara (344 m/detik)^[11]
- t = waktu tempuh (detik)

Program pada mikrokontroler berguna untuk mengirimkan data dari komputer ke DAC dan melakukan pengukuran ketinggian. Program mikro diawali dengan inisialisasi mode serial, mode *timer*, *baudrate*, dan inisialisasi *port*. Bit ES dan EA diisi satu untuk mengaktifkan interupsi serial, program menunggu sampai ada interupsi. Apabila ada interupsi dari komputer maka akan dilaksanakan rutin interupsi serial, untuk mengukur jarak. Diagram alir program mikrokontroler ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir program mikrokontroler.

Rutin interupsi diawali dengan mengisi *port 2* dengan data yang dikirimkan oleh komputer, kemudian melakukan pengukuran ketinggian (dengan sensor PING))TM) dan hasil pengukuran tersebut dikirimkan kembali ke komputer. Ilustrasi pengukuran ketinggian air ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Ilustrasi pengukuran ketinggian air.

Dengan memperhatikan kondisi bak penampungan air, peletakan *valve*, dan peletakan sensor, maka secara umum perancangan pengukuran ketinggian air sebagai berikut:

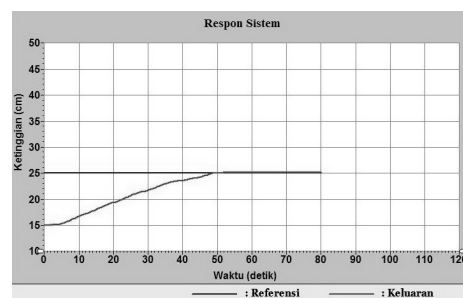
1. Ketinggian sensor dari dasar air adalah 64 cm.
2. Ketinggian air minimum yang dapat diukur adalah 14,3 cm, apabila lebih rendah maka dianggap 14,3 cm.
3. Ketinggian air maksimum yang dapat diukur adalah 45 cm, apabila lebih tinggi maka dianggap 45 cm.
4. Mikrokontroler mengukur jarak antara sensor dengan permukaan pelampung dan dikirim ke komputer, perhitungan ketinggian dilakukan oleh komputer.
5. Data hasil pengukuran dikuantisasi menjadi 8 bit.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

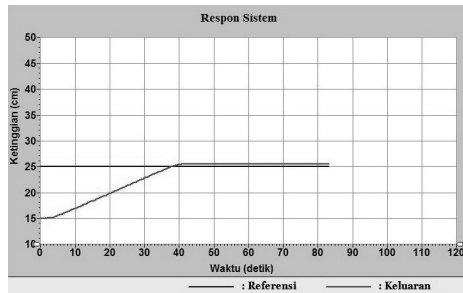
Pengujian jaringan syaraf *B-spline* dilakukan untuk mengetahui pengaruh masing-masing parameter jaringan syaraf *B-spline* (laju konvergensi, *gain* proporsional) terhadap dinamika respon *plant* kendali ketinggian air.

4.1 Pengaruh Laju Konvergensi terhadap Transien Ketinggian Air

Laju konvergensi mempengaruhi kecepatan laju pembelajaran jaringan syaraf tiruan *B-spline*, dalam hal ini pembelajaran digunakan untuk memperbaharui bobot.

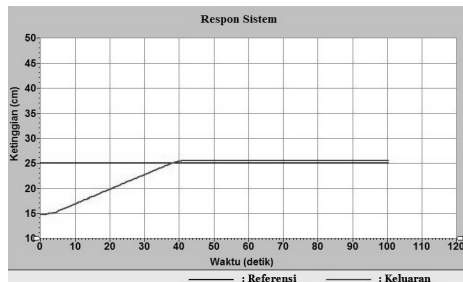


(a) Bobot awal nol.



(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 12. Respon transien kendali *B-spline* orde 1 dengan *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3.



Gambar 13. Respon transien kendali *B-spline* orde 1 dengan *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,6, bobot hasil 2 kali pelatihan.

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 dapat dilihat bahwa sistem kendali dengan laju konvergensi 0,6 lebih cepat mencapai kestabilan, waktu naiknya juga lebih kecil bila dibandingkan dengan sistem yang menggunakan laju konvergensi sebesar 0,3. Pada sistem dengan menggunakan bobot hasil dua kali pelatihan mempunyai waktu penetapan dan waktu naik yang lebih kecil dibandingkan dengan sistem yang menggunakan bobot awal nol. Data parameter unjuk kerja pada pengujian pengaruh nilai laju konvergensi ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 25 cm (ketinggian awal 15 cm) terhadap perubahan laju konvergensi.

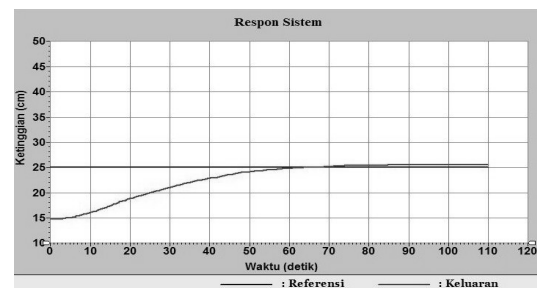
Parameter Unjuk Kerja	Laju konv. = 0,3 <i>Gain</i> Prop. = 0,3		Laju konv. = 0,6 <i>Gain</i> Prop. = 0,3	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	52	42	44	41
Waktu naik (detik)	49	38	41	38
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	85	48	61	44
Waktu naik (detik)	64	40	48	39
ORDE 3				
Waktu	76	46	56	41

penetapan (detik)				
Waktu naik (detik)	64	40	48	38

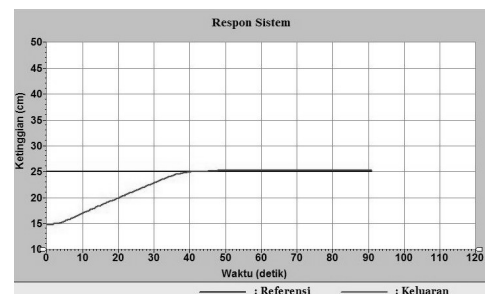
Hasil pengujian pada sistem dengan pengendali *B-spline* orde 1, orde 2 dan orde 3 menunjukkan bahwa nilai laju konvergensi berpengaruh terhadap waktu naik dan waktu penetapan respon sistem. Semakin besar laju konvergensi yang dipergunakan akan memperkecil waktu penetapan dan waktu naik.

4.2 Pengaruh *Gain* Proporsional terhadap Transien Ketinggian Air

Sinyal kendali merupakan penjumlahan dari keluaran *gain* proporsional dengan keluaran jaringan syaraf tiruan *B-spline*, selain itu *gain* proporsional digunakan sebagai data latih dalam jaringan syaraf tiruan. Nilai *Gain* proporsional sendiri dipengaruhi oleh besarnya *error*. Pada pengujian ini dipilih 2 buah nilai *gain* yang besarnya relatif berbeda, dengan besar nilai laju konvergensi dan besar parameter generalisasi yang sama.

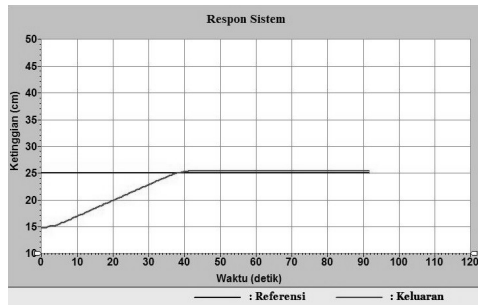


(a) Bobot awal nol.



(b) Bobot hasil 2 kali pelatihan.

Gambar 14. Respon transien kendali *B-spline* orde 2 dengan *gain* proporsional 0,3 dan laju konvergensi 0,3.



Gambar 15. Respon transien kendali *B-spline* orde 2 dengan *gain* proporsional 0,6 dan laju konvergensi 0,3, bobot hasil 2 kali pelatihan.

Pada Gambar 14 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa semakin besar *gain* proporsional pada sistem kendali *B-spline* orde 2 semakin kecil waktu naik dan waktu penetapannya. Sistem dengan *gain* proporsional 0,3 mempunyai waktu penetapan sebesar 85 detik dan waktu naik sebesar 64 detik. Setelah dua kali pelatihan didapatkan waktu penetapan yang lebih cepat, yaitu sebesar 48 detik, dimana waktu naiknya juga lebih cepat dibandingkan pada saat bobot masih nol. Data parameter unjuk kerja pada pengujian pengaruh nilai *gain* proporsional diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data parameter unjuk kerja sistem dengan kendali *B-spline* pada referensi 25 cm (ketinggian awal 15 cm) terhadap perubahan *gain* proporsional.

Parameter Unjuk Kerja	Gain Prop. = 0,3 Laju konv. = 0,3		Gain Prop. = 0,6 Laju konv. = 0,3	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
ORDE 1				
Waktu penetapan (detik)	52	42	43	41
Waktu naik (detik)	49	38	40	38
Parameter Unjuk Kerja	Gain Prop. = 0,3 Laju konv. = 0,3		Gain Prop. = 0,6 Laju konv. = 0,3	
	Bobot awal nol	Bobot hasil latih	Bobot awal nol	Bobot hasil latih
ORDE 2				
Waktu penetapan (detik)	85	48	60	41
Waktu naik (detik)	64	40	46	38
ORDE 3				
Waktu penetapan (detik)	76	46	60	42
Waktu naik (detik)	64	40	46	37

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *gain* proporsional berpengaruh terhadap waktu naik dan waktu penetapan respon sistem. Semakin besar *gain* proporsional yang dipilih, waktu naik dan waktu penetapan respon semakin kecil.

5. KESIMPULAN

- Respon transien keluaran ketinggian air sangat tergantung terhadap pemilihan parameter-parameter kendali jaringan *B-spline*, yaitu besarnya laju konvergensi, *gain* proporsional, dan pemilihan orde fungsi basis.
- Pada sistem degan posisi *valve* keluaran tertutup penuh, pemilihan laju konvergensi yang semakin besar akan menyebabkan sistem pengaturan ketinggian air lebih cepat mencapai keadaan tunak.
- Sistem kendali jaringan *B-spline* orde 1, dengan *valve* keluaran tertutup penuh fungsi basis orde 1 paling cepat mencapai kestabilan.
- Pada kendali jaringan syaraf *B-spline* penggunaan bobot hasil pelatihan akan meningkatkan unjuk kerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agfianto Eko Putra, “Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 (teori dan aplikasi)”, Gava Media, Yogyakarta, 2002.
- [2] Brown, Martin and Harris, *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [3] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Haykin, Simon, “*Neural Networks- A Comprehensive Foundation*”, Macmillan Colege-Publishing Company Inc, 1994.
- [5] Kadir, Abdul, *Panduan Pemrograman Visual C++*, Andi Offset, Yogyakarta, 2004.
- [6] Malvino, *Prinsip – Prinsip Elektronika*, Jakarta : Erlangga, 1996.
- [7] Ogata, Katsuhiko, *Teknik Kontrol Otomatik, Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1993.
- [8] Setiawan, Iwan dan Wahyudi, “*Topologi Fix Stabilizing Controller pada Sistem Kendali Adaptive dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Jenis B-Spline*”, Seminar Nasional Rapi III, Universitas Muhammadiyah Surakarta 2004.